

Christopher Krembs, Institut für Polarökologie

Der Einfluß der dreidimensionalen Eisstruktur auf die Zusammensetzung und Aktivität arktischer Meereis-Biozöosen

Der Lebensraum

Die ganzjährige Bedeckung mit Packeis ist charakteristisch für das arktische Mittelmeer (MAYKUT 1985). Das Meereis wird von einer reichen Lebensgemeinschaft von Bakterien, Pilzen, Algen, Proto- und Metazoen (z.B. HORNER 1985, 1990) besiedelt. Es stellt durch seine zeitlich und räumlich veränderlichen physiko-chemischen Bedingungen sowie seinen räumlichen Aufbau vielfältige Anforderungen an die hier lebenden Organismen.

Der Lebensraum innerhalb des Meereises ist ein verzweigtes Solekanalsystem, das bereits bei der Eisbildung entsteht. Das Volumen der Solekanäle liegt, in Abhängigkeit von Salzkonzentration und Temperatur, zwischen etwa 1-30% (FRANKENSTEIN und GARNER 1967). Ausgüsse von Meereis-Kernen (WEISSENBERGER et al. 1992) veranschaulichten deren sehr komplexen, dreidimensionalen Aufbau. Dabei besitzen die einzelnen Solekanäle einen mittleren Durchmesser von 200 bis 400 µm und sind netzartig miteinander verbunden.

Als wichtigste Primärproduzenten im Meereis gelten pennate Diatomeen (POULIN 1990), die selbst als partikuläre Nahrung für höhere trophische Ebenen dienen. Von den Primärproduzenten ernährt sich eine Gemeinschaft von Proto- und Metazoen. Die Verteilung der Organismen im Eis ist nicht gleichförmig. Physikochemische Parameter erzeugen starke zeitliche und räumliche Gradienten, die das Habitat strukturieren (EICKEN 1992). Hohe Organismenkonzentrationen wurden in unterschiedlichen Tiefenhorizonten des Meereises festgestellt, wobei für arktisches Meereis die höchsten Werte in den untersten Zentimetern auftreten ("Bodengemeinschaften"; HORNER 1985). Weiterhin treten starke horizontale Veränderungen ("Patchiness") auf. So variierten in antarktischen Eiskernen, die in 30 cm Abstand voneinander dem Eis entnommen wurden, die Organismenabundanzen bereits um eine Größenordnung (SPINDLER und DIECKMANN 1986), wobei Licht sowie unterschiedliche Beschaffenheit und Bildungsmodi

des Eises als Ursachen diskutiert werden (COTA 1989, EICKEN 1992).

Das Räuber-Beute-Gefüge ist im großen Maße von der räumlichen Struktur innerhalb des Eises abhängig, da diese zusammen mit den Strömungsbedingungen die Treffer- oder Diffusionsrate zwischen Organismus und Nahrungspartikeln bzw. gelösten Nährstoffen mitbestimmt. Die komplexe räumliche Struktur des Eises läßt sehr unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten in einzelnen Solekanälen vermuten. Detailliertes Wissen über den prozentualen Anteil der festsitzenden bzw. vagilen Individuen im Eis und über die Solebewegungen innerhalb der Kanäle ist daher zum Verständnis der Nahrungsbeziehungen notwendig. Räuber sind durch ihre Größe hinsichtlich ihrer Motilität und ihren Nahrungserwerb an bestimmte Mindestdurchmesser des Kanalsystems gebunden. Das Volumen der Kanäle ist von der *in situ* herrschenden Temperatur und dem Salzgehalt des Eises abhängig. Dadurch wird die Räuber-Beute-Begegnungsrate indirekt von der im Eis herrschenden Temperatur beeinflusst.

Die Strömungsbedingungen innerhalb des Solekanalsystems sind bisher nicht bekannt, theoretische Abschätzungen ergaben aber bereits, daß der Soletransport laminar sein muß (Gradinger et al. 1992). Rheologische Studien ergaben, daß bestimmte Strömungsbedingungen im Pelagial zur Bildung von Aggregaten aus gelöstem organischen Material (DOM) führen (JENKINSON et al. 1991). Inwieweit dieser Prozeß auch innerhalb der Salzlau- genkanäle stattfindet, ist unbekannt.

Advektive Stoffflüsse haben einen wesentlichen Einfluß auf das Algenwachstum durch die Bereitstellung von anorganischen Nährstoffen (COTA et al. 1987). Über die Mechanismen des Stoffaustausches bestehen unterschiedliche Vorstellungen. MEGURO et al. (1967) beschrieben drei Nährstoffquellen für die Eisalgen. Vorgeschlagen wurden *in situ* Regeneration von organischem Material, Nährstoffimport durch einen Entsalzungsprozeß aus dem überlagernden Eis und ein gerichteter Nährstofftransport von der Wassersäule in das

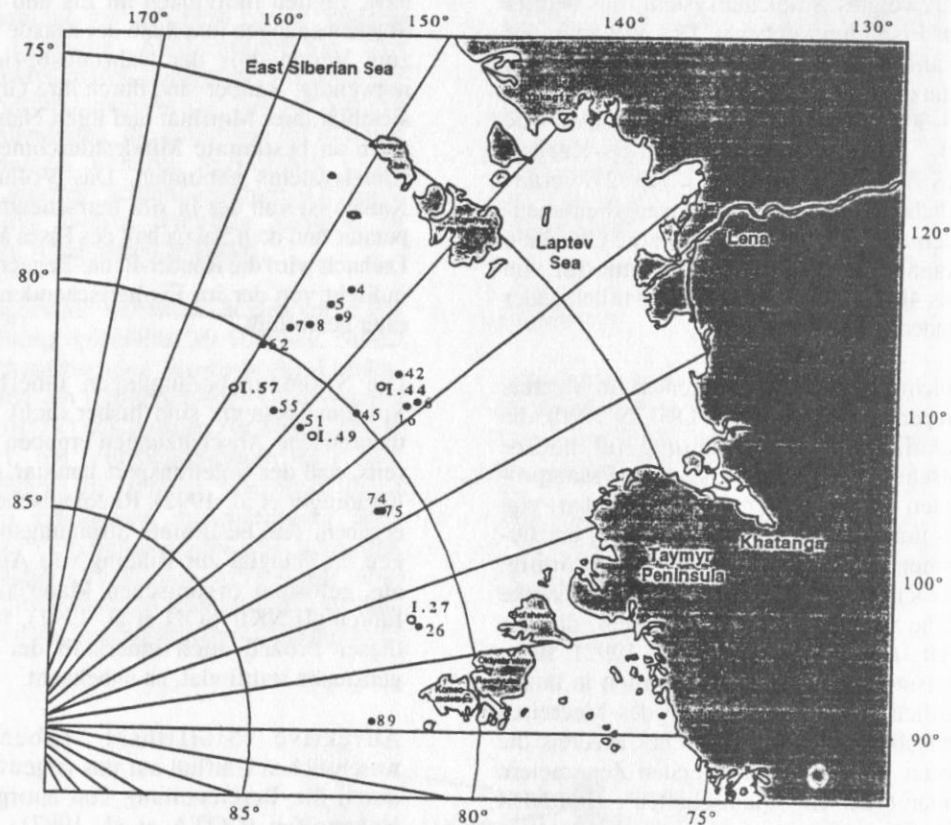
Eis. COTA et al. (1987) untersuchten exemplarisch die relative Bedeutung dieser Mechanismen in einer Region mit starken Gezeitenströmungen und fanden heraus, daß der Nährstoffbedarf der im Eis lebenden Flora durch Austausch mit der darunterliegenden Wassersäule gedeckt werden konnte. COTA (1985) konnte dabei eine 65%ige Erhöhung der Chlorophyllkonzentrationen im Meereis bei erhöhter Strömungsgeschwindigkeit unterhalb des Eises feststellen.

Wellenbewegungen entlang der Eisunterseite sind ebenfalls für den Wasseraustausch zwischen Eis und Wasser verantwortlich (ACKLEY et al. 1987, ACKERMANN et al. 1990, SHEN UND ACKERMANN 1990, WEISSENBERGER 1992), die zu einem Anreicherungsprozeß von Nährstoffen und Sediment innerhalb des Eises führen. Messungen hierzu wurden bisher nur experimentell im Labor durchgeführt, direkte Messungen der Austauschraten an arktischen Eisschollen fehlen.

Es sollen bewährte Methoden der Eisbiologie mit neuen Techniken und Geräten zur Untersuchung der Verteilung von Organismen innerhalb einzelner Strukturen des Solekanalsystems kombiniert, Erkenntnisse über die Beziehungen zwischen Raumstruktur und Besiedlungsmuster und die Struktur des Nahrungsnetzes erhalten werden.

Erste Ergebnisse

Proben und Daten wurden während der "Polarstern-Expedition" ARK XI/1 (7.7.-20.9.1995) gesammelt. Im Verlauf der dreimonatigen Expedition konnten zwei neu entwickelte Geräte erfolgreich eingesetzt werden, womit ein umfangreicher Datensatz gewonnen und ausgiebig Probenmaterial gesammelt werden konnte. Das gewonnene Material stammte von verschiedenen Eistypen und Eismächtigkeiten und umfaßte das in der Expedition auftretende Spektrum.



FS Polarstern, Expedition ARK XI/1 - 1995

Positionen der Stationen 4 bis 89, 19. Juli bis 11. September, 1995

Abb. 1. FS Polarstern, Expedition ARK XI/1 - 1995. Positionen der Stationen 4 bis 89, 19. Juli bis 11. September. *"I." markiert diejenigen Stationen, auf denen der Inkubationsschirm zum Einsatz gebracht wurde.

Eine Strömungs-sonde erfaßte die Strömungsbedingungen direkt unterhalb der Eisscholle. Ein Inkubationsschirm diente zur Erfassung von Stoffaustauschraten von gelösten Nährstoffen zwischen Pelagial und Meereis sowie des Stofftransports innerhalb des Solekanalsystems. Beide Geräte wurden speziell für diese Fragestellung entwickelt.

Die Strömungs-sonde

Die Strömungs-sonde verfügt über eine Sensibilität von 0.06 m sec.^{-1} . Ihre Kennlinie ist zwischen $0.06-1 \text{ m sec.}^{-1}$ linear (Abb. 2). Die Sonde wurde so robust konzipiert, daß sie den Anforderungen der Eisarbeiten entsprach und gleichzeitig eine gute Sensibilität und ein gutes Auflösungsvermögen aufwies. Durch eine direkte Meßabtastung durch Lichtleiter am Sondenkopf konnte eine wenig störanfällige, wartungsfreie und wasserunempfindliche Konstruktion realisiert werden, die sich während der Expedition ARK XI/1 sehr bewährt hat.

Der Inkubationsschirm

Ein Inkubationsschirm ermöglichte es, eine definierte Menge an Wasser an der Grenzfläche zwischen Wasser und Eis bei ihm umgebender Strömung zu behalten. Dabei konnte das Wasser im Schirminneren mit der Eisunterseite in Wechselwirkung treten und im Inneren des Schirmes durch einen geschlossenen Wasserkreislauf die Strömung der Umgebung nachgestellt werden. Durch Zugabe von Farbstoffen in das Wasser und Beprobung des inkubierten Eises konnten Einblicke in die Austauschmechanismen zwischen Wassersäule und Eis ermittelt werden. Ein spezielles Design erlaubte das Ausbringen und Bergen dieses Gerätes durch ein Eisbohrloch von 10 cm Durchmesser. Schematisch ist der apparative Aufbau der Geräte auf dem Eis (Abb. 2) dargestellt. Die Stromversorgung auf dem Eis wurde durch einen Dieselgenerator gewährleistet.

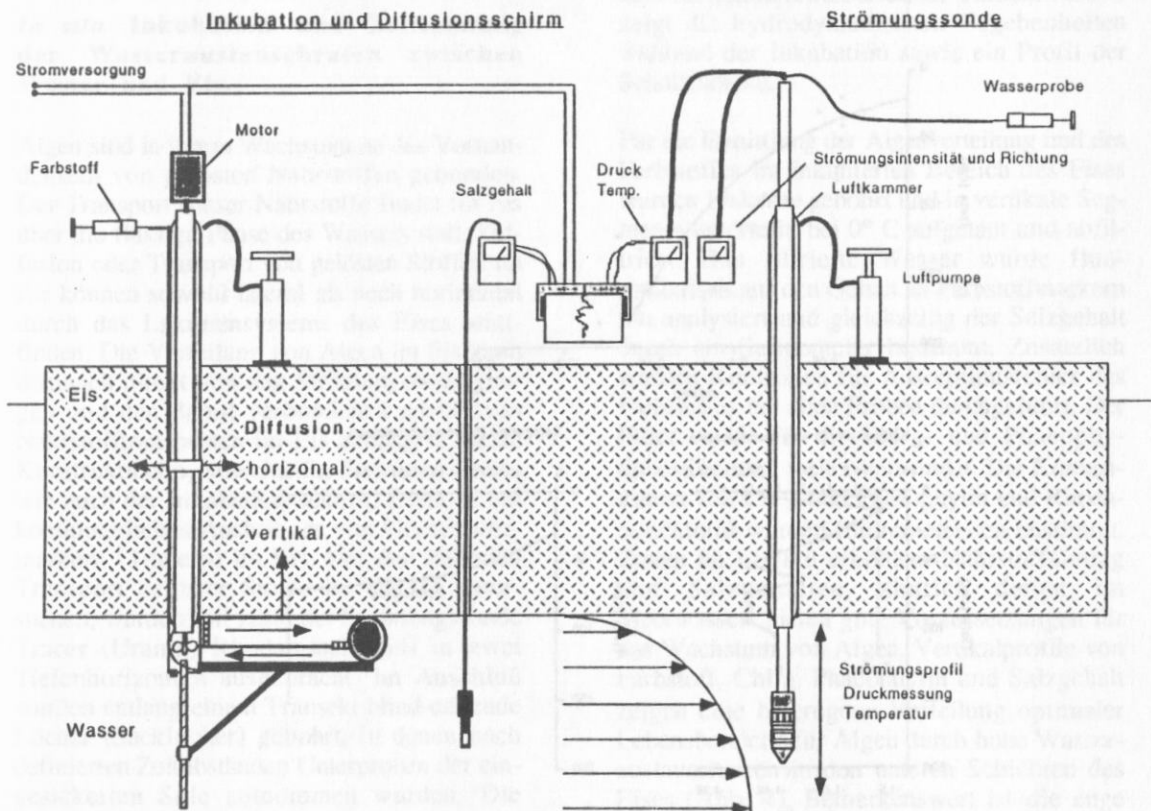


Abb. 2. Schematische Übersichtszeichnung des apparativen Aufbaus der Geräte auf dem Eis.

Das Strömungsprofil (0-183 cm) unter dem Eis wurde mit der Strömungs-sonde gemessen. Es wurde die Strömungsrichtung und Intensität mit 10 cm Vertikalauf-
lösung erfaßt. Dabei konnte ein neues Luftkammersystem der Strömungs-sonde auf einer 24 Stunden-Station er-
probt werden. Hierbei handelt es sich um eine luftgefüllte Manschette, die sich zwischen
Gerät und Eiswand des Bohrloches legt. Bei Neueisbildung und Temperaturen unter dem
Gefrierpunkt ließ sich die Strömungs-sonde nach 24 Stunden problemlos bergen. Gleiches

traf auch bei sämtlichen Anwendungen des Inkubationsschirms zu, der mit dem gleichen
System ausgestattet ist. Die Strömungs-
geschwindigkeiten 0-183cm unterhalb der
Scholle variierten zwischen <0.06 bis 0.25 m sec^{-1} . Die Strömungsprofile zeigten häufig
turbulente Komponenten, die aus der Variabili-
tät der jeweils über 1 min gemessenen Daten
zu ersehen ist. Strömungsrichtungen variierten,
in Abhängigkeit von der Tiefe, um bis zu ca.
 90° .

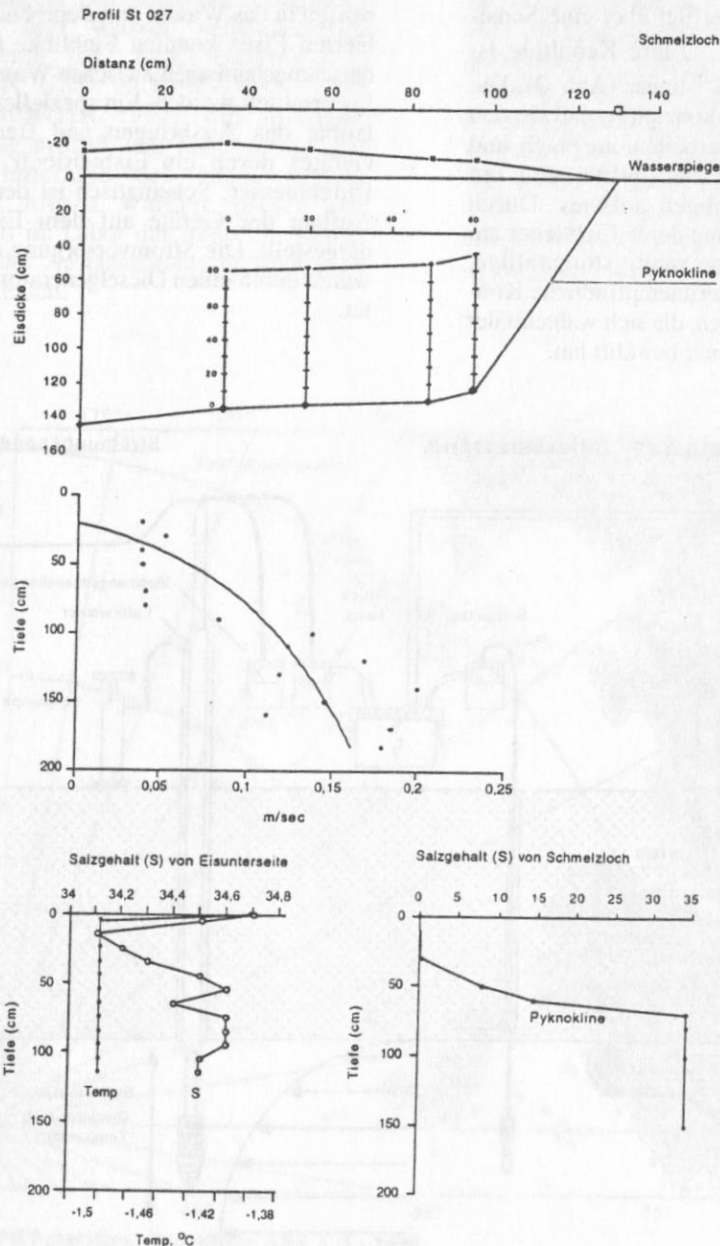


Abb. 3 a). Profil der Scholle in dem Bereich, der durch den Inkubationsschirm inkubiert wurde. Der Schirm erstreckte sich von der Y-Achse bis zum Knickpunkt der Eisunterseite (60 cm). b) Strömungsprofil unterhalb der Scholle an gleicher Stelle c) Temperatur und d) Salinitätsprofil unterhalb der Scholle und innerhalb eines nahegelegenen Schmelzloches.

Durch Schmelzvorgänge an der Eisschollen-Oberseite sickert Süßwasser, das beim Schmelzen entsteht, durch die Eisscholle. In Wölbungen an der Eisunterseite sammelt sich dieses leichtere Schmelzwasser in größeren Süßwasserlinsen und bildet einen Untereis-Schmelzwassertümpel. Wir nehmen an, daß eine Relativbewegung der Eisscholle und der darunterliegenden Schmelzwasserschicht zueinander zu einer Pumpbewegung des Wassers unter dem Eis und zu einem Transport von Nährstoffen in das Eis hinein führt. Die Intensität dieser Schwankungen wurde mit Hilfe einer Temperatur-Salzgehaltssonde gemessen, die in die Pyknokline zwischen Schmelzwasserschicht und darunter liegendem Wasserkörper installiert wurde. Es wurde kontinuierlich die Frequenz der Schwingungen auf einem Schreiber aufgezeichnet. Durch den Salzgehaltgradienten im Wasser kann die Amplitude der Schwingung ermittelt werden. Aus diesen Daten versuchen wir nun zu ermitteln, ob die beobachteten Schwingungen durch propagierende Wellen, Strömung, Schollendrift oder Eigenschwingungen der Scholle hervorgerufen wurden.

***In situ* Inkubation und Bestimmung der Wasseraustauschraten zwischen Wasser und Eis.**

Algen sind in ihrem Wachstum an das Vorhandensein von gelösten Nährstoffen gebunden. Der Transport dieser Nährstoffe findet im Eis über die flüssige Phase des Wassers statt. Diffusion oder Transport von gelösten Stoffen im Eis können sowohl lateral als auch horizontal durch das Lakunensystems des Eises stattfinden. Die Verteilung von Algen im Eis kann demnach direkt von den Strömungsbedingungen und den damit verbundenen advektiven Nährstofftransporten im Eis abhängen. Beide Konstruktionen, sowohl die Strömungssonde wie auch der Inkubationsschirm, erlauben ein kontinuierliches Ausbringen von Fluoreszenzmarkern (Tracern) im Eis. Um den lateralen Transport gelöster Stoffe im Eis zu untersuchen, wurden mit Hilfe der Strömungssonde Tracer (Uranin, Rhodaminchlorid) in zwei Tiefenhorizonten ausgebracht. Im Anschluß wurden entlang einem Transekt blind-endende Löcher (Sacklöcher) gebohrt, in denen nach definierten Zeitabständen Unterproben der eingesickerten Sole entnommen wurden. Die Konzentration des Tracers wurde fluorometrisch bestimmt.

Durch eine *in situ* Inkubation des Eises mit einem Farbstoff wurden Wasseraustauschraten zwischen Eis und Pelagial ermittelt. Um das Verdriften der Farbstoffe unter dem Eis zu ver-

hindern, wurde der Inkubationsschutzschirm genutzt, der einen definierten Wasserkörper mit Farbstoff (Rhodaminchlorid) unter dem Eis einschließen konnte. Der Strömungsmesser wurde durch ein zweites benachbartes Bohrloch geführt, um das Strömungsprofil unterhalb der Eisscholle zu ermitteln. Durch einen geschlossenen Pumpkreislauf konnte die Wasserströmung im Schirminnen nachgestellt und mit Farbstoffen angereichert werden. Dabei wurden die Strömungsgeschwindigkeiten des umgebenden Wassers nachgestellt und Druckschwankungen durch propagierende Wellen unterhalb des Eises direkt auf das eingeschlossene Wasservolumen übertragen.

Da der Boden des Schirmes äußerst flexibel ist, konnten zudem Druckschwankungen des umgebenden Wassers direkt auf das Innere des Schirmes übertragen werden. Die Eisunterseite wurde für 2-3 Stunden inkubiert. Anschließend wurden die Eiskerne aus dem Eis herausgebohrt, in gleich lange Segmente (10 cm) unterteilt und aufgetaut. Die Variabilität des Wasseraustausches zwischen Wasser und Eis konnte durch die Intensität des Farbstoffmarkers im Schmelzwasser erfaßt werden. Abb. 3 zeigt die hydrodynamischen Gegebenheiten während der Inkubation sowie ein Profil der Schollendicke.

Für die Ermittlung der Algenverteilung und des Farbstoffes im inkubierten Bereich des Eises wurden Eiskerne gebohrt und in vertikale Segmente unterteilt, bei 0° C aufgetaut und abfiltriert. Das filtrierte Wasser wurde fluorometrisch auf den Gehalt an Farbstoffmarkern hin analysiert und gleichzeitig der Salzgehalt durch ein Salinometer bestimmt. Zusätzlich wurden Kontrollen für Adsorptionsfehler des Farbstoffes bei allen Proben durchgeführt. Der Filter wurde für die Chl *a*- und Phaeophytinbestimmung weiter verwendet. Die Konzentration von Chl *a* und Phaeophytin und Rhodaminchlorid wurden fluorometrisch bestimmt. Zonen im Eis mit erhöhtem Nährstoffeintrag und Salzgehalten, ähnlich denen im Meerwasser, bieten gute Voraussetzungen für das Wachstum von Algen. Vertikalprofile von Farbstoff, Chl *a*, Phaeophytin und Salzgehalt zeigen eine heterogene Verteilung optimaler Lebensbereiche für Algen durch hohe Wasseraustauschraten in den unteren Schichten des Eises (Abb. 4). Bemerkenswert ist die enge Kopplung aller vier Größen. Dies deutet darauf hin, daß an Stellen eines erhöhten Austausches von Wasser zwischen Meer und Eis das Algenwachstum im Eisinneren durch bessere Nährstoffversorgung gefördert wird.

Station 027

Entfernung der Eiskerne die im inkubierten Bereich genommen wurden (cm)

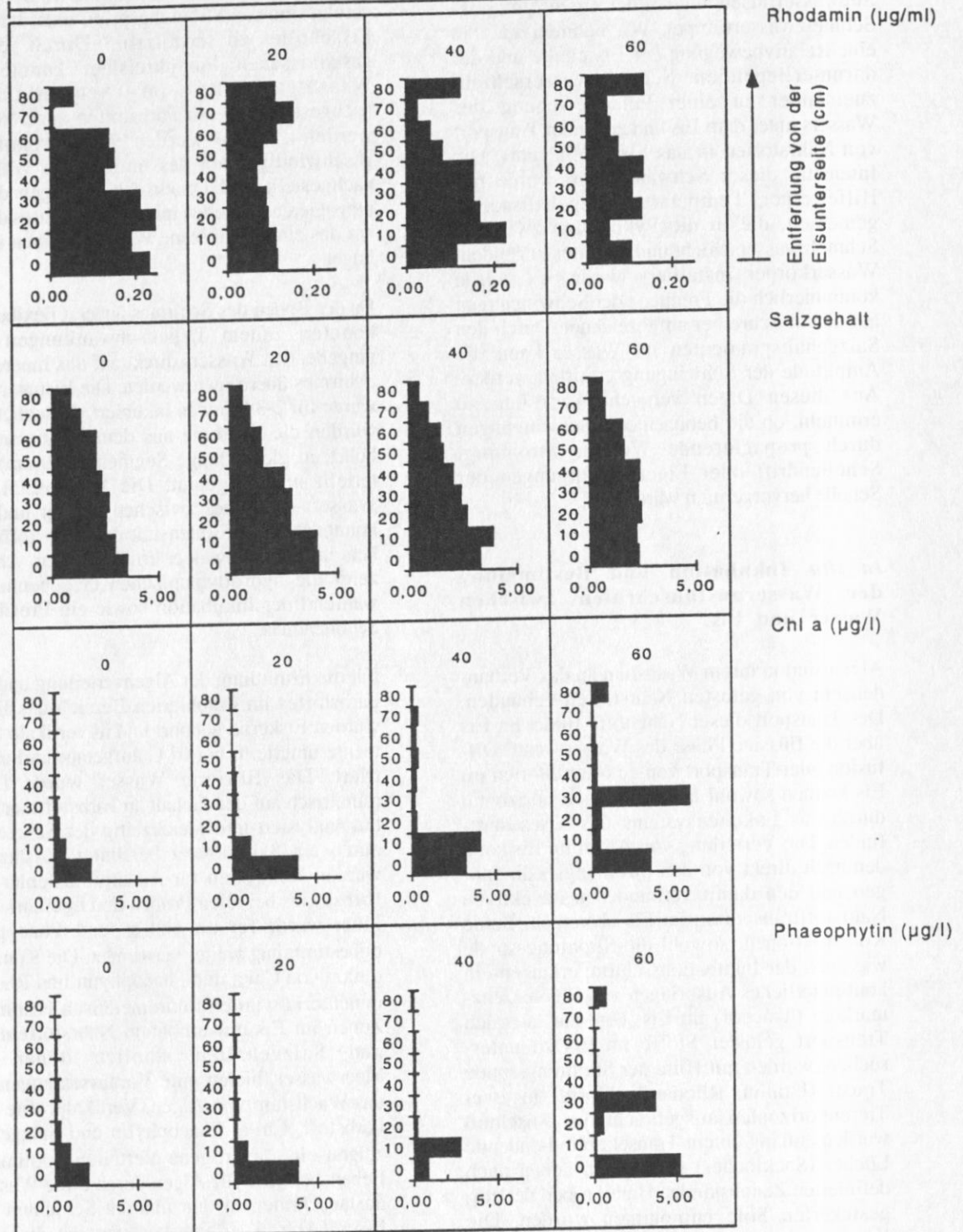


Abb. 4 Verteilung von Rhodaminchlorid, Salzgehalt, Chl a und Phaeophytin entlang einem Transekt im unteren Bereich des Eises.

Als weiterer Punkt wurden die Temperatur der Luft und Windgeschwindigkeit vom Schiffssystem aufgezeichnet. Schollendrift und Schollenrotation während der Eisarbeiten wurden durch mehrmalige Positionsbestimmung mit einem GPS-Gerät bestimmt. Temperatur- und Salzgehaltsprofile im Eis und unter dem Eis (0-4 m) wurden mittels einer T-S Sonde (WTW LF196) gemessen. Inwieweit diese Faktoren die hydrodynamische Situation im und unter dem Eis beeinflussen, wird noch ermittelt.

Weiterhin sollte die Verteilung von Organismen im Subzentimeter-Bereich im Eis untersucht werden. Die Ermittlung der Organismenverteilung innerhalb des Solekanalsystems wird derzeit durch die Spatial Information Preservation (SIP) Methode durchgeführt. Die räumliche Verteilung von Partikeln im Eis kann bei dieser Methode in seiner Anordnung erhalten (KREMBES et al., eingereicht) werden. Bei Temperaturen von -15 bis -20° C wird das Eis auf einen Gelatinefilm aufgetragen, der geringe Mengen an Glycerin enthält. Durch das Glycerin beginnt das Eis kontrolliert an der Eis-Gel Grenzschicht zu schmelzen. Das entstehende Schmelzwasser wird diffus durch den Gelatinefilm hindurch kontinuierlich entfernt. Organismen, die in der Eismatrix eingefroren sind, bleiben auf der Oberfläche des Gels haften. Ist das Eis geschmolzen, verbleibt die dreidimensionale Verteilung der Organismen, nun als zweidimensionale Projektion auf der Oberfläche des Gels liegend, zurück. Dieser Schritt kann daher als Eissubstitution angesehen werden. Nach Beendigung der Substitution können die Organismen gefärbt und unter dem Epifluoreszenz- und Durchlichtmikroskop auf ihre Verteilung hin analysiert werden. Die räumliche Genauigkeit der Substitutionsmethode liegt bei wenigen μm . Die SIP Methode wurde zur Analyse der Organismenverteilung innerhalb des Meereises herangezogen. Die Eiskerne werden stückweise in 200 μm Abschnitten substituiert. Die Eiskerne werden auf diese Weise nicht geschnitten, sondern man kann durch kontrolliertes Abschmelzen an der Gel-Eis-Grenzschicht und abwechselndes Auftragen neuer Gelfilme einen gesamten Eiskern an einem Stück sequenzieren.

Die Abundanzen der sympagischen Organismen im Eis wurden durch eine schonende Methode an halbierten Eiskernsegmenten der untersten 10 cm bestimmt und Bakterien, Algen und Protozoen mittels der Epifluoreszenz-Mikroskopie bestimmt. Untereis-Wasserproben wurden durch eine Schlauchleitung, die am Kopf der Strömungssonde installiert ist, mit einer Spritze genommen und auf gleiche Weise filtriert und angefärbt. Die Auswertung der Fil-

terproben wird derzeit mittels Epifluoreszenzmikroskopie durchgeführt.

Experimentelle Ermittlung der Prozesse, die zur Verteilung von Organismen und organischem Material im Solekanalsystem führen.

Experimente zur Simulation der im Eis herrschenden physiko-chemischen Bedingungen mit einem eigens dafür entwickelten Gerät, dem "oszillierenden Laugenkanal Simulator (OLS)", sollen Aufschluß über das Verhalten sympagischer Organismen und die Anreicherungsmechanismen von organischem Material innerhalb des Eises in Abhängigkeit von der Solebewegung ergeben.

Der OLS erlaubt einen Einblick in ein künstlich erzeugtes Solekanalsystem. Unterhalb der Solekanäle ist ein Vorratsbehälter angebracht, der bei konstanter Temperatur die natürlichen gemessenen Druckschwankungen durch einen fein regelbaren Kolbenmotor simulieren kann. Hierdurch werden oszillierende Strömungen in den Kanälen erzeugt, die mit Hilfe eines Binokulares und einer Videokamera quantifiziert werden können. Ergebnisse, die mit dem OLS erhalten werden, sollen zur Erklärung der *in situ* gefundenen Verteilungen von Organismen und Aggregaten von organischem Material im Eis dienen.

Die Größe der Solekanäle erlaubt nur ein selektives Passieren vieler Eisorganismen. Das Solekanalsystem im Meereis ist aus einer Vielzahl winziger Kanälchen zusammengesetzt. Kleine Kanäle können kleinen Organismen als Refugien dienen und sie vor größeren Räubern schützen. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Solekanalgröße und Verteilung der Organismen im Eis zu erkennen, wurden künstliche Glaskapillaren mit unterschiedlichen Durchmessern (4-1000 μm) über einen Monat hinweg mit einer natürlichen Mischkultur an sympagischen Organismen besiedelt. In Tagesabständen wurden die Abundanzen der größeren Organismen (>100 μm) in und außerhalb der Kapillaren unter dem Binokular erfaßt. Erste Ergebnisse zeigen bereits, daß Flagellaten (<10 μm) mit größerer Häufigkeit in den kleinsten Kapillaren (50 μm) zu finden sind. Die Präsenz größerer Organismen war bei diesen Durchmessern selektiv unterbunden. Dies legt die Vermutung nahe, daß engere Solekanäle auch im Eis als Refugien für kleinere Organismen dienen können.

Literatur:

- ACKERMANN, N. L., SHEN, H. T. & SANDERS, B. E. (1990): Sediment enrichment of coastal ice covers. In: Proceedings of the International Association of Hydraulic Research Ice Symposium, Espoo, Finland, 86-96.
- ACKLEY, S. F., DIECKMANN, G. & SHEN, H. (1987): Algal and foram incorporation into new sea ice. EOS 68, 1736.
- COTA, G. F. (1985): Photoadaptation of high arctic ice algae. Nature, London. 315, 219-222.
- COTA, G. F., PRINSENBERG, S. J., BENNETT, E. B., LODER, J. W., LEWIS, M. R., ANNING, J. L., WATSON, N. H. F. & HARRIS, L. R. (1987): Nutrient fluxes during extended blooms of Arctic ice algae. J. Geophys. Res. 92 (C2), 1951-1962.
- EICKEN, H. (1992): The role of sea ice in structuring Antarctic ecosystems. Polar Biol 12, 3-13.
- FRANKENSTEIN, G. & GARNER, R. (1967): Equations for determining the brine volume of sea ice from -0.5° to $-22, 9^{\circ}$ C. J. Glac. 6, 237-239.
- GRADINGER, R., SPINDLER, M. & WEISSENBERGER, J. (1992): On the structure and development of Arctic pack ice communities in Fram Strait, a multivariate approach. Polar Biol. 12, 727-733.
- HORNER, R. (1985): Sea ice biota. CRC press, Boca Raton/Fl. 215p.
- HORNER, R. (1990): Ice associated ecosystems. In: Polar marine diatoms. Medlin, L. K., Priddle, J. (eds.), British Antarctic Survey, Cambridge, 9-14.
- JENKINSON, I. R., BIDDANDA, B. A., TURLEY, C. M., ABREU, P. C., RIEBEL, U. & SMETACEK, V. S. (1991): Rheological properties of marine organic aggregates: importance for vertical flux, turbulence and microzones. Oceanologica Acta. Proceedings of the International Colloquium on the environment of epicontinental seas, Lille, 20-22 March, 1990, vol. sp. n° 11, 101-107.
- KREMBS, C., JUHL, A. R. & STRICKLER, J. R.: Nanoscale patchiness in the plankton: A method to sample the spatial distribution of microorganisms. Limnol. Oceanogr. (subm.).
- MEGURO, H. ITO, K. & FUKUSHIMA, H. (1967): Ice flora (bottom type): a mechanism of primary production in polar seas and the growth of diatoms in sea ice. Arctic 20, 114-133.
- POULIN, M. (1990): Sea ice diatoms (Bacillariophyceae) of the Canadian Arctic. I. The genus *Stenoneis*. J. Phycol. 26, 156-167.
- SHEN, H. T. & ACKERMANN, N. L. (1990): Wave-induced sediment enrichment in coastal ice covers. In: Proceedings of the W. F. Weeks Sea Ice Symposium. U.S. Army Cold Regions Res. and Eng. Lab. Monograph 90-1, Hanover, NH, 100-102.
- SPINDLER, M. & DIECKMANN, G.S. (1986): Distribution and abundance of the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* in sea ice of the Weddell Sea. Polar Biol. 5, 185-191.
- WEISSENBERGER, J. (1992): The environmental conditions in the brine channels of Antarctic sea-ice. Rep. Polar Res. 111, 159p.
- WEISSENBERGER, J., DIECKMANN, G., GRADINGER, R. & SPINDLER, M. (1992): Sea ice: a cast technique to examine and analyze brine pockets and channel structure. Limnol. Oceanogr. 37, 179-183.
- WEISSENBERGER, J., DIECKMANN, G., GRADINGER, R. & SPINDLER, M. (1992): Sea ice: a cast technique to examine and analyze brine pockets and channel structure. Limnol. Oceanogr. 37, 179-183.